

Univerzitet u Beogradu

Saobraćajni fakultet

Nastavno - naučnom veću

**Predmet:** Podobnost teme i kandidata Nikole Ivanova dipl. inž. saob. za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno - naučnog veća Saobraćajnog fakulteta br. 619/3 od 21.06.2017. godine imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Nikole Ivanova, dipl. inž. saob. za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme pod nazivom **"KAŠNJENJA KAO INSTRUMENT UPRAVLJANJA U SISTEMU VAZDUŠNOG SAOBRAĆAJA"**.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

## IZVEŠTAJ

### 1. Podaci o kandidatu

#### 1.1 Biografski podaci

Nikola Ivanov rođen je 13.03.1985. godine u Vranju. Završio je Osnovnu školu "Sveti Sava" u Vladičinom Hanu (2000.) kao nosilac Vukove diplome. Gimnaziju "Jovan Skerlić", prirodno-matematički smer, u Vladičinom Hanu završio je 2004. godine kao nosilac Vukove diplome. Zbog uspeha na takmičenjima iz matematike, među kojima se izdvajaju Druga nagrada (prvo mesto) za pojedinačni uspeh na 25. Matematičkom turniru (Ekipno prvenstvo srednjih škola u matematici) održanom u Beogradu 2003. godine i Pohvala na 46. Republičkom takmičenju srednjih škola iz matematike održanom u Nišu 2004. godine, izabran je za đaka generacije. U to vreme je bio aktivan učesnik i član letnjih škola matematike u organizaciji Matematičkog društva Arhimedes. Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Odsek za vazdušni saobraćaj upisuje školske 2004/05. godine. U toku osnovnih studija nagrađivan je Diplomom za izuzetan uspeh na prvoj (2006.), drugoj (2007.) i trećoj (2008.) godini studija. Na četvrtoj godini studija (2008.) obavlja stručnu praksu na Aerodromu "Konstantin Veliki" Niš (jul-avgust). Na petoj godini studija (2009.) u periodu avgust-oktobar obavio je drugu stručnu praksu u Eurocontrol-u (Evropska agencija za bezbednost vazdušne plovidbe), Brisel, u odeljenju za statistiku i prognozu, STATFOR. Tokom boravka u Eurocontrol-u) radi na internom istraživačkom projektu, koji je ujedino predstavljao i diplomski rad, "Short Term Leading Indicators for Changes in Air Traffic Growth" koji je za cilj imao unapređenje kratkoročne prognoze koju izdaje

STATFOR. Za vreme osnovnih studija primao je republičku i opštinsku stipendiju, stipendiju Fondacije “Nikola Oka”, stipendiju Fondacije za razvoj naučnog i umetničkog podmlatka i stipendiju Fonda za mlade talente. Diplomirao je u novembru 2009. godine sa prosečnom ocenom 9,93 i nosilac je diploma “Zoran Radosavljević” koja se dodeljuje najboljem diplomiranom studentu Odseka za vazdušni saobraćaj (2009/2010). Doktorske studije na Saobraćajnom fakultetu je upisao u martu 2010. godine, a reupisao se u oktobru 2016. godine.

## 1.2. Stečeno naučno-istraživačko iskustvo

Doktorske studije na saobraćajnom fakultetu je upisao u martu 2010. godine. Položio je sve ispite na doktorskim studijama sa prosečnom ocenom 10, predao godišnji rad i ostvario ukupno 79 ESPB bodova (od potrebnih 70). Naučno nastavno veće je priznalo položene ispite na osnovu odluke broj 392/2 od dana 20.04.2017. Uspešno je odbranio predlog istraživanja u okviru doktorske disertacije sa predloženom temom pod nazivom „Kašnjenje kao instrument upravljanja u sistemu vazdušnog saobraćaja“ dana 29. juna 2017. godine i ostvario 16 ESPB bodova.

### *Spisak saopštenih i objavljenih radova*

U nastavku je dat spisak radova u kojima je kandidat Nikola Ivanov prvi autor:

- [1] Ivanov, N., & Jovanovic, R. (2014). Effects of route competition on the dynamics of airline pricing in emerging markets. In *18th Air Transport Research Society (ATRS) World Conference*. (p. CD Issue). Bordeaux, France.
- [2] Ivanov, N., & Jovanovic, R. (2016). An insight into airline dynamic pricing practices in emerging markets: Effects of low cost carriers' presence on routes from Belgrade “Nikola Tesla” airport. *Tehnika*, 71(1), 119–126.
- [3] Ivanov, N., & Kalić, M. (2011). Market Segmentation of Air Passengers Using Cluster Analysis: Belgrade Airport Case. In *SYM-OP-IS 2011 (38th Symposium of Operations Research)* (pp. 681–684). Zlatibor, Serbia.
- [4] Ivanov, N., & Marsh, D. (2010). Case Study: Google Data as Explanatory Variable for Short Term Forecast of Air Traffic. In *SYM-OP-IS 2010 (37th Symposium of Operations Research)* (pp. 757–760). Tara, Serbia.
- [5] Ivanov, N., & Netjasov, F. (2014). Review of Decision Support Systems in Air Transport System. In *18th Air Transport Research Society (ATRS) World Conference* (p. CD Issue). Bordeaux, France.
- [6] Ivanov, N., & Netjasov, F. (2016). Binary Assignment Optimization - Based Model for Tactical Air Traffic Flow Management Slot Allocation. In *SYM-OP-IS 2016 (43rd Symposium of Operations Research)* (pp. 553–557). Tara, Serbia.
- [7] Ivanov, N., Netjasov, F., & Jovanović, R. (2016). Utilizing schedule buffers to reduce propagated delay: A new approach for tactical Air Traffic Flow Management

slot allocation. In *7th International Conference on Research in Air Transportation ICRAT2016*. Philadelphia US.

- [8] Ivanov, N., Netjasov, F., Jovanović, R., Starita, S., & Strauss, A. (2017). Air Traffic Flow Management slot allocation to minimize propagated delay and improve airport slot adherence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 183–197. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2016.11.010>

*Učešće na istraživačkom projektu finansiranom od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja*

Kandidat je kao istraživač saradnik učestvovao na projektu „Podrška održivom razvoju sistema vazdušnog saobraćaja Republike Srbije“ Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, br. TR36033 u periodu od 01.01.2011. do 30.04.2016. godine.

*Učešće na drugim istraživačkim projektima*

Od 01.05.2016. kandidat učestvuje u radu na projektu iz programa Evropske komisije Horizont 2020 pod nazivom „Coordinated capacity ordering and trajectory pricing for better performing ATM“, br. 699326, na kome je Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu koordinator projekta.

*Priprema za prijavu doktorata*

U okviru doktorskih studija prisustvovao je i učestvovao na brojnim domaćim i međunarodnim konferencijama i radionicama (SYMOPIS, ICRAT, ATRS, HALA Summer School, itd.). Tokom 2014. i 2015. godine, proveo je šest meseci na stručnom usavršavanju u Network Manager Operations Centre (NMOC) u Eurocontrol-u. Pored rada na doktorskim studijama, preko Instituta Saobraćajnog fakulteta bio je aktivan i učestvovao je u radu na istraživačkim i konsultantskim projektima, kako domaćim tako i inostranim.

### 1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu svega napred navedenog Komisija smatra da je kandidat veoma dobro pripremljen i da je dobar za rad na disertaciji koju predlaže.

## **2. Predmet i cilj istraživanja**

### 2.1 Predmet i cilj istraživanja

U okviru predloženog istraživanja se razmatra problem neusklađenosti potražnje u vazdušnom saobraćaju i raspoloživog kapaciteta vazdušnog prostora. U uslovima kada se javlja neusklađenosti potražnje i raspoloživog kapaciteta u vazdušnom saobraćaju menadžer na mreži vrši takvu raspodelu ATFCM (*Air Traffic Flow and Capacity Management*) kašnjenja kako bi se minimizirala procenjena sekundarna kašnjenja povezanih letova i maksimizirala usklađenost vremena poletanja/sletanja letova sa aerodromskim slotovima.

Pod sekundarnim kašnjenjem se podrazumeva kašnjenje koje nastaje zbog kašnjenja prethodnog leta, tj. aviona kojim treba da se obavi povezani let. Postojanje dodatnog

vremena (DV) u redu letenja može delimično ili potpuno da apsorbira ATFCM kašnjenje, tako da se isto ne prenese na sledeći let.. Da bi se stvorila slika o realnim kašnjenjima, koja su od značaja za avio-kompanije, potrebno je sagledati i strateški i taktički red letenja, tj. uzeti u obzir i *robustnost* reda letenja, odnosno njegovu otpornost na poremećaje. Ovo je eksplicitno uzeto u obzir u okviru predloženog istraživanja, gde se ATFCM kašnjenje koristi kao instrument za smanjivanje procenjenog sekundarnog kašnjenja. Takođe, u obzir se uzima i ukupni trošak kašnjenja: strateški trošak uključivanja DV u red letenja, kao i taktički trošak ATFCM (primarnog) kašnjenja (Cook i Tanner, 2015).

U ovom istraživanju, usvojena je realistična pretpostavka da menadžer na mreži nema informaciju koji su letovi povezani. Pretpostavka je da menadžer na mreži ima informacije o sezonskom redu letenja ("strateška" informacija), kao i o planiranim individualnim letovima na dan operacija ("taktička" informacija) na osnovu planova letenja avio-kompanija (dakle, nema informaciju o povezanosti letova). Na osnovu strateške i taktičke informacije o letu, menadžer na mreži procenjuje DV za svaki individualni let i u slučaju nedostatka kapaciteta na mreži, vrši raspodelu ATFCM kašnjenja tako da minimizira ukupno procenjeno sekundarno kašnjenje (ili ukupan trošak kašnjenja) regulisanih letova i maksimizira usklađenost vremena poletanja/sletanja letova sa aerodromskim slotovima.

Za razliku od prethodnih istraživanja, u okviru ovog istraživanja se strateški dodeljeni aerodromski slotovi eksplicitno uzimaju u obzir prilikom dodeljivanja ATFCM kašnjenja letovima. Naime, cilj je da se, koliko god je to moguće, izvrši takva raspodela ATFCM kašnjenja koja minimizira odstupanje vremena poletanja i sletanja regulisanih letova od dodeljenih im aerodromskih slotova. Ovakav pristup rešavanja problema bi, dugoročno gledano, mogao imati uticaj na određivanja nivoa DV za letove s obzirom da bi avio-kompanije težile da se adaptiraju novim pravilima, u skladu sa svojom poslovnom politikom. U okviru istraživanja biće neophodno da se utvrdi način za pravičnu raspodelu ATFCM kašnjenja na letove, jer je realno očekivati da će se pojaviti problem uspostavljanja kompromisa između efikasnosti i pravičnog pristupa. U literaturi su dati različiti predlozi za pravični pristup rešavanju problema zagušenja u vazдушnom prostoru ili na aerodromima. Na primer, model sa dugoročnom memorijom, koji uzima u obzir istoriju kašnjenja dodeljenih određenim avio-kompanijama (Tošić i ostali, 1995). Postoje i različiti principi za raspodelu kašnjenja, na primer, da kašnjenje dobijaju oni letovi koji su uzročnici kašnjenja (*delayers pay principle*) (Levinson i Rafferty, 2004).

Gore navedeni aspekti istraživanja su u određenom obimu već razmatrani i testirani, a dobijeni su i neki preliminarni rezultati koji su publikovani u radovima:

- [1] Ivanov, N., Netjasov, F., & Jovanović, R. (2016). Utilizing schedule buffers to reduce propagated delay: A new approach for tactical Air Traffic Flow Management slot allocation. In *7th International Conference on Research in Air Transportation ICRAT2016*. Philadelphia US.

- [2] Ivanov, N., Netjasov, F., Jovanović, R., Starita, S., & Strauss, A. (2017). Air Traffic Flow Management slot allocation to minimize propagated delay and improve airport slot adherence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 183–197. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2016.11.010>

Na osnovu inicijalnih rezultata istraživanja u okviru izrade doktorske disertacije, početni predmet i ciljevi su redefinisani u svrhu daljih istraživanja.

Cilj daljeg istraživanja je da se (re)definiše matematički model, pri čemu bi kriterijumska funkcija bila definisana na osnovu procenjenih troškova kašnjenja. Potrebno je istražiti kako definisati agregiranu funkciju troška kašnjenja, s obzirom na to da će biti posmatrani individualni trošak svakog leta, eksplicitno uzimajući u obzir troškove različite prirode: strateški trošak i taktički trošak. Takođe, neophodno je razmotriti i individualne funkcije troškova svakog leta, pogotovo za slučajeve koji nisu obuhvaćeni u, inače veoma detaljnoj, studiji Cook i Tanner (2015). Na kraju, dodatna vrednost istraživanja bi bila upotpunjena poređenjem rezultata koji daje isti matematički model, za iste testirane primere, a koji daju dve različite kriterijumske funkcije. U svrhu poređenja rezultata biće definisani i dodatni pokazatelji performanci (*Key Performance Indicators*), kako bi se sagledala šira slika rezultata i potencijalno utvrdili kompromisi koje donose različiti pristupi rešavanja problema.

Dalje unapređenje modela će obuhvatiti i razmatranje pravične raspodele ATFCM kašnjenja na letove (*equity considerations*). Naime, biće potrebno definisati dodatno(a) ograničenje(a) koje će uzeti u obzir, na primer, koliko je maksimalno dozvoljeno kašnjenje po letu ili odnos 0.25 i 0.75 percentila kašnjenja. Takođe, moguće je da se svaki let posmatra kao jedan od letova u okviru avio-kompanije koja za prethodna kašnjenja ima određeni „kredit“ koji predstavlja ograničavajući faktor za menadžera na mreži prilikom dodele ATFCM kašnjenja letovima te avio-kompanije. I jedan i drugi princip je moguće testirati u različitim uslovima, na primer, menjanjem ograničenja maksimalno dozvoljenog kašnjenja ili nivoa kredita koja avio-kompanija ima da „zaštiti“ svoje letove od prekomernog kašnjenja. Treba napomenuti da su predloženi principi i konceptualno u skladu sa tzv. *User Driven Prioritisation Process* (UDPP) konceptom, koji je predložen u okviru programa za unapređenje sistema kontrole letenja (Single European Sky ATM Research and Development – SESAR). U okviru UDPP-a, avio-kompanije imaju mogućnost da daju prioritet određenim letovima koji bi trebalo da budu ATFCM regulisani i okašnjeni, pa da kao takvi dobiju što je manje moguće kašnjenje (Pilon i ostali, 2016).

Pored napred navedenog, biće razmotrena i mogućnost uvođenja dodatnog (pred)nivoa u modelu, koji bi proveravao da li postoji mogućnost da se samo neki od letova okasne na zemlji, bez potrebe da se uvodi ATFCM regulacija. U praksi ovakav koncept već postoji i skraćeno se naziva STAM (*Short-term ATFCM measures*), kao jedno od SESAR rešenja na lokalnom nivou za problem zagušenja u vazдушnom prostoru. U suštini, STAM predstavlja dodeljivanje kraćih ATFCM kašnjenja, između ostalih mera regulisanja saobraćaja, pojedinim letovima koji uzrokuju stvaranje zagušenja. Međutim, STAM se primenjuje na lokalnom nivou, a primenjuje se na osnovu ekspertske procene kontrolora letenja u

pružaocima usluga u vazdušnoj plovidbi. U okviru ovog istraživanja, biće eventualno uzeto u razmatranje primena sličnih mera, na sistematičniji način: biće razmatrani letovi koji imaju veliki DV i koji ne bi imali sekundarno kašnjenje usled primene ATFCM mera.

Na kraju će biti pokušano da se da ocena u kojim situacijama bi predloženi model mogao da bude primenjen u praksi. Da bi se to utvrdilo, potrebno je testirati model na više relevantnih primera, koji oslikavaju tipične ili karakteristične situacije koje se dešavaju u realnosti. Dakle, potrebno je analizirati istorijske podatke o ATFCM regulacijama i pronaći „tipične“ predstavnike istih. Takođe, potrebno je utvrditi i frekvenciju ponavljanja tipičnih regulacija, kako bi se ocenio broj situacija u kojima bi predloženi model mogao da ima prednost u odnosu na onaj koji je trenutno u upotrebi. Podaci potrebni za ovakvu analizu već postoje u bazama podataka menadžera na mreži, i dostupni su za preuzimanje (izvor: Eurocontrol Demand Data Repository - DDR2: [www.eurocontrol.int/ddr](http://www.eurocontrol.int/ddr)).

## 2.2 Osvrt na relevantne bibliografske izvore i ostvarene rezultate

U nastavku ovog poglavlja je dat sažet pregled relevantne literature. Detaljan pregled matematičkih modela koji su definisani za rešavanje problema uspostavljanja balansa između potražnje na mreži i raspoloživih kapaciteta dat je u (Agustín i ostali, 2010). Barnhart i ostali (2012) daju smernice za moguća buduća istraživanja u oblasti upravljanja vazdušnim saobraćajem i kapacitetima na mreži.

Tosic i ostali (1997) su definisali matematički model (celobrojno 0-1 programiranje) za rešavanje problema nedostatka kapaciteta sektora na ruti, pri čemu kriterijumska funkcija minimizira trošak kašnjenja na zemlji i trošak rerutiranja. Kašnjenja na zemlji se smatraju bezbednijim i jeftinijim od kašnjenja u vazduhu (Liu i Hansen, 2013), dok je rerutiranje letova kroz nezagušeni vazdušni prostor jedan od načina da se smanji kašnjenje, kao i troškovi istog (Jovanović i ostali, 2014). Castelli i ostali (2011) predlažu raspodelu ATFCM slotova na tržišnim principima kako bi minimizirali trošak ATFCM kašnjenja usled regulacije jednog sektora na ruti. U radu je pokazano da alokacija ATFCM kašnjenja uz pomoć CASA (Computer-Assisted Slot Allocation) sistema koji koristi menadžer na mreži, minimizuje ATFCM kašnjenje letova, uz pravičnu (*equitable*) raspodelu kašnjenja. Castelli i ostali (2011) tvrde da je drugačije optimalno rešenje moguće kada se umesto minuta kašnjenja uzme u obzir trošak istog. Oni pokazuju da alokacija ATFCM kašnjenja korišćenjem njihovog mehanizma smanjuje trošak kašnjenja u poređenju sa CASA rešenjem, iako u vremenskom domenu uzrokuje nešto duže ATFCM kašnjenje.

Vranas i ostali (1994) je jedan od radova koji se bave raspodelom kašnjenja u slučaju nedostatka kapaciteta, a koji uzima u razmatranje kašnjenje povezanih letova. Vranas i ostali pretpostavljaju da unapred znaju red letenja svih letova i rotacije aviona, kao i minimalno i dodatno vreme opsluge aviona između dva leta, što uzimaju kao jedno od ograničenja u modelu (*coupling constraint*) - CC. Ukoliko prethodni let kasni, sledeći let istog aviona neće moći da poleti pre minimalnog vremena za opsluživanje aviona na zemlji, tj. imaće određeno kašnjenje, kao i dodatni trošak istog, što je uzeto u obzir u kriterijumskoj funkciji. Oni su zaključili da se rešenja koja daje model u slučaju kada se ograničenje CC

uzima i ne uzima u obzir, ne razlikuje bitno u slučaju homogene tražnje, tj. kada su funkcije troška kašnjenja svih letova iste. Slični radovi, čiji je fokus što efikasnije rešavanja problema velikih razmera na mreži su Bertsimas i Patterson (1998), Bertsimas i ostali (2008), Churchill i ostali (2009), Agustin i ostali (2012). U ovim radovima se razmatra primena kombinacije različitih mera regulisanja potražnje, kao što su kašnjenje na zemlji, rerutiranja, kontrola brzine letenja aviona i otkazivanje letova, kako bi se minimizirali troškovi primenjenih mera regulacije. Odluke o primeni mera regulisanja letova donosi menadžer na mreži koji ima potpunu informaciju o povezanim letovima kao i rotacijama aviona u redu letenja. Takođe, menadžer na mreži vodi računa o svim ograničenjima kapaciteta na mreži, kao i o ograničenju povezanih letova (CC). Churchill i ostali (2009) navode da upravo CC ograničenje znatno povećava vreme proračuna. Međutim, kao glavni problem CC ograničenja se ističe činjenica da prevozioci najčešće ne otkrivaju koji su letovi povezani, kao ni rotacije aviona, pa menadžer na mreži neće biti u situaciji da ima potpunu informaciju na osnovu koje bi donosio odluke.

Studije i radovi koji se bave aerodromskim slotovima su takođe relevantni za ovaj predlog istraživanja. Glavni fokus radova koji se bave aerodromskim slotovima su primarno i sekundarno tržište aerodromskim slotovima, na primer, Pellegrini i ostali (2012), Babic i Kalic (2012) i drugi. Veliki broj radova se bavi i alokacijom aerodromskih slotova, kao što su Avenali i ostali (2015) i Corolli i ostali (2014), kao i analizom efikasnosti raspodele aerodromskih slotova, na primer, Madas i Zografos (2008), Ranieri i ostali (2013) i mnogi drugi. Jedan od radova koji se bavi raspodelom aerodromskih slotova na pravičnim principima raspodele, a pritom uzima u obzir i ograničene kapacitete u vazдушnom prostoru je Castelli i ostali (2012). Etxebarria i ostali (2013) simuliraju 12 različitih strategija prioritizacije za letove na mreži, na primer, jedna od strategija je da letovi koji sleću na zagušene aerodrome imaju prioritet u odnosu na druge. Međutim, Etxebarria i ostali nalaze da ni jedna od 12 strategija ne daje značajno bolje rezultate od strategija koja se trenutno primenjuje ("prvi pristigao, prvi opslužen"). Adamson (2015) prezentuje rezultate iz prakse (mali aerodromi u Grčkoj) koji pokazuju koristi kako za mrežu u celini, tako i za prevoziocima, ukoliko se prilikom raspodele ATFCM kašnjenja uzimaju u obzir i aerodromski slotovi.

Koncept korišćenja i re-alokacije DV između letova kako bi se smanjila sekundarna kašnjenja je već poznat vazduhoplovnim prevoziocima i pokazano je da isti može potencijalno da bude od koristi (AhmadBeygi i ostali, 2008). de Villemeur i ostali (2011) analiziraju (cost-benefit) kakav uticaj bi imalo planiranje DV na centralnom nivou, umesto trenutno zastupljenog lokalnog načina određivanja DV (*in-house*). de Villemeur i ostali pokazuju da centralno planiranje dovodi do nižih nivoa DV, što prema njihovoj metodologiji i postavci problema dovodi do povećanja opšteg dobra (*welfare*). U slučaju koji de Villemeur i ostali razmatraju jasno se vidi kompromis (*trade-off*) između efikasnijeg rešenja i pravičnog pristupa (*equity*). I u mnogim drugim radovima se sreće sličan kompromis. Na primer, prilikom rešavanja problema zagušenosti vazdušnog prostora u Evropi, Lulli i Odoni (2007) primećuju sličan fenomen kompromisa između efikasnog

rešenja (trošak kašnjenja) i pravičnog pristupa raspodela kašnjenja (kašnjenje na zemlji ili zadržavanje aviona u vazduhu). Kuhn (2013) na prvom nivou matematičkog modela maksimizira efikasnost, a zatim na drugom nivou maksimizira pravičnost rešenja. Glover i Ball (2013) eksplicitno uključuju i meru efikasnosti i pravičnog pristupa u kriterijumsku funkciju. Na kraju, Glover i Ball ističu da je pravičnost rešenja stvar perspektive, te da se ne može uniformno definisati. Treba napomenuti da ni pravični pristup, niti termini sa sličnim značenjem, nisu eksplicitno definisani u saobraćajnim politikama Evropske komisije (Jovanović i ostali, 2015).

Problem koji je predmet istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji je relevantan u akademskim krugovima, a predloženo istraživanje donosi nekoliko novih aspekata koji prethodno nisu razmatrani na način na koji se razmatraju u okviru ovog istraživanja. Jedan deo istraživanja u okviru ove doktorske disertacije je već urađen, a preliminarni rezultati su publikovani na međunarodnoj konferenciji (ICRAT 2016) i objavljeni u naučnom časopisu sa SCI liste (Transportation Research Part A: Policy and Practice).

Problem neusklađenosti saobraćjne potražnje i kapaciteta na mreži je relevantan i sa praktičnog aspekta. Naime, procenjeni troškovi ATFCM kašnjenja na ruti u Evropi u 2016. godini iznosili su preko 860 miliona evra, dok je ukupno ATFCM kašnjenje na ruti bilo preko 8.7 miliona minuta (EUROCONTROL PRC, 2017). Prosečno ATFCM kašnjenje po letu kome je dodeljeno ATFCM kašnjenje iznosilo je 18 minuta (EUROCONTROL PRC, 2017), dok je prosečno ukupno kašnjenje leta koji je okašnjen iznosilo preko 27 minuta u 2016. godini (EUROCONTROL CODA, 2017). Sekundarno kašnjenje je najveća individualna grupa kašnjenja (EUROCONTROL CODA, 2017), i kao takva su primarni fokus u predloženom istraživanju.

Kandidat u svojoj prijavi, na osnovu pregleda literature, tvrdi da se problemu koji je predmet istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji u dosadašnjim istraživanjima nije poklanjala adekvatna pažnja i da u postojećim istraživanjima nije rešavan problem koji je definisan u ovom istraživanju. Po najboljem saznanju Komisije ova tvrdnja je tačna.

### 2.3 Referentna literatura

- [1] Adamson, P. (2015). Optimising Airport Performance in a Network Environment. In *CS1 Airport Workshop*. Brussels: EUROCONTROL.
- [2] Agustin, A., Alonso-Ayuso, A., Escudero, L. F., & Pizarro, C. (2012). On air traffic flow management with rerouting. Part I: Deterministic case. *European Journal of Operational Research*, 219(1), 156–166. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.12.021>
- [3] Agustín, A., Alonso-Ayuso, A., Escudero, L. F., & Pizarro, C. (2010). Mathematical optimization models for air traffic flow management: a review. *Studia Informatica Universalis*, 8(2), 141–184.

- [4] AhmadBeygi, S., Cohn, A., Guan, Y., & Belobaba, P. (2008). Analysis of the potential for delay propagation in passenger airline networks. *Journal of Air Transport Management*, 14(5), 221–236. <http://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2008.04.010>
- [5] Avenali, A., D'Alfonso, T., Leporelli, C., Matteucci, G., Nastasi, A., & Reverberi, P. (2015). An incentive pricing mechanism for efficient airport slot allocation in Europe. *Journal of Air Transport Management*, 42, 27–36. <http://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.07.009>
- [6] Babic, D., & Kalic, M. (2012). Airline route network expansion: Modelling the benefits of slot purchases. *Journal of Air Transport Management*, 23, 25–30. <http://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2012.03.002>
- [7] Babić, O., & Netjasov, F. (2011). *Kontrola letenja*. Beograd: Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni Fakultet.
- [8] Barnhart, C., Fearing, D., Odoni, A., & Vaze, V. (2012). Demand and capacity management in air transportation. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 1(1–2), 135–155. <http://doi.org/10.1007/s13676-012-0006-9>
- [9] Bertsimas, D. J., Lulli, G., & Odoni, A. (2008). The air traffic flow management problem: an integer optimization approach. *3th International Conference on Integer Programming and Combinatorial Optimization ({IPCO}2008)*, 34–46. [http://doi.org/10.1007/978-3-540-68891-4\\_3](http://doi.org/10.1007/978-3-540-68891-4_3)
- [10] Bertsimas, D., & Patterson, S. S. (1998). The air traffic flow management problem with enroute capacities. *Operations Research*, 46(3), 406–422. <http://doi.org/10.1287/opre.46.3.406>
- [11] Castelli, L., Pellegrini, P., Pesenti, R., & Management, D. (2012). Airport slot allocation in Europe : economic efficiency and fairness. *International Journal of Revenue Management*, 6(1–2), 28–44. <http://doi.org/10.1504/IJRM.2012.044514>
- [12] Castelli, L., Pesenti, R., & Ranieri, A. (2011). The design of a market mechanism to allocate Air Traffic Flow Management slots. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(5), 931–943. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2010.06.003>
- [13] Churchill, A., Lovell, D., & Ball, M. (2009). Evaluating a new formulation for large-scale traffic flow management. In *8th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Berlin.
- [14] Cook, A. (2007). *European Air Traffic Management: Principles, Practice and Research*. Ashgate Publishing, Ltd.
- [15] Cook, A., & Tanner, G. (2015). *European airline delay cost reference values. Final Report*. University of Westminster for EUROCONTROL Performance Review Unit.
- [16] Corolli, L., Lulli, G., & Ntaimo, L. (2014). The time slot allocation problem under uncertain capacity. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 46, 16–29. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2014.05.004>

- [17] de Villemeur, E. B., Quinet, E., Ivaldi, M., & Urdanoz, M. (2011). Optimal Air Traffic Delays. In *1st SESAR Innovation Days*. Toulouse.
- [18] Etxebarria, I., Regidor, C., & Escribano, B. (2013). Intelligent modelling of the air transport network impact of innovative prioritisation strategies on delay patterns. In *3rd SESAR Innovation Daysation Days*. Stockholm.
- [19] EUROCONTROL. (2014). *Centralised Service on Flight Plan and Airport Slot Consistency (FAS): Concept of Operations (CONOPS), Edition 2.1*.
- [20] EUROCONTROL. (2015). Annual Network Operations Report 2014, Annex I - Airspace Users View.
- [21] EUROCONTROL. (2017). *ATFCM operations manual v21.0*.
- [22] EUROCONTROL CODA. (2015). *All-Causes Delay and Cancellations to Air Transport 2014 - CODA Digest*.
- [23] EUROCONTROL CODA. (2017). *CODA Digest: All-Causes Delay and Cancellations to Air Transport in Europe - 2016*.
- [24] EUROCONTROL PRC. (2015). An Assessment of Air Traffic Management in Europe during the Calendar Year 2014 - Performance Review Report, (May).
- [25] EUROCONTROL PRC. (2016). *An Assessment of Air Traffic Management in Europe during the calendar year 2015*.
- [26] EUROCONTROL PRC. (2017). *Performance review report 2016. Final draft*.
- [27] European Commission. (2013). Commission Implementing Regulation (EU) No 391/2013 of 3 May 2013 laying down a common charging scheme for air navigation services. OJ L 128, 9.5.2013, pp 31-58.
- [28] Glover, C. N., & Ball, M. O. (2013). Stochastic optimization models for ground delay program planning with equity–efficiency tradeoffs. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 33, 196–202. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2011.11.013>
- [29] Hao, L., & Hansen, M. (2013). How Airlines Set Scheduled Block Times. *10th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*.
- [30] Holloway, S. (2008). *Straight and level: practical airline economics* (3rd ed.). Burlington: Ashgate Pub.
- [31] IATA. (2017). *Worldwide Slot Guidelines, 8th Ed*. Montreal - Geneva .
- [32] Ivanov, N., Netjasov, F., & Jovanović, R. (2016). Utilizing schedule buffers to reduce propagated delay: A new approach for tactical Air Traffic Flow Management slot allocation. In *7th International Conference on Research in Air Transportation ICRAT2016*. Philadelphia US.

- [33] Ivanov, N., Netjasov, F., Jovanović, R., Starita, S., & Strauss, A. (2017). Air Traffic Flow Management slot allocation to minimize propagated delay and improve airport slot adherence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 183–197. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2016.11.010>
- [34] Jovanović, R., Babić, O., & Tošić, V. (2015). Pricing to reconcile predictability, efficiency and equity in ATM. In *11th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Lisbon.
- [35] Jovanović, R., Tošić, V., Čangalović, M., & Stanojević, M. (2014). Anticipatory modulation of air navigation charges to balance the use of airspace network capacities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 61, 84–99. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2014.01.005>
- [36] Kuhn, K. D. (2013). Ground delay program planning: Delay, equity, and computational complexity. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 35, 193–203. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2013.07.008>
- [37] Levinson, D., & Rafferty, P. (2004). Delayer pays principle examining congestion pricing with compensation. *International Journal of Transport Economics*, 31(3), 295–311.
- [38] Liu, Y., & Hansen, M. (2013). Ground Delay Program Decision-making using Multiple Criteria : A Single Airport Case. In *10th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Chicago.
- [39] Lulli, G., & Odoni, A. (2007). The European Air Traffic Flow Management Problem. *Transportation Science*, 41(4), 431–443. <http://doi.org/10.1287/trsc.1070.0214>
- [40] Madas, M. A., & Zografos, K. G. (2008). Airport capacity vs. demand: Mismatch or mismanagement? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(1), 203–226. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2007.08.002>
- [41] Pellegrini, P., Castelli, L., & Pesenti, R. (2012). Secondary trading of airport slots as a combinatorial exchange. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(5), 1009–1022. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2012.03.004>
- [42] Pilon, N., Cook, A., Ruiz, S., Bujor, A., & Castelli, L. (2016). Improved Flexibility and Equity for Airspace Users During Demand-capacity Imbalance: An introduction to the User Driven Prioritisation Process. In *The sixth SESAR Innovation Days*. Delft.
- [43] Ranieri, A., Alsina, N., Castelli, L., Bolic, T., & Herranz, R. (2013). Airport slot allocation: performance of the current system and options for reform. In *3rd SESAR Innovation Days*. Stockholm.
- [44] Tosić, V., Babić, O., Čangalović, M., & Hohlać, D. (1997). A model to solve en route air traffic flow management problem: a temporal and spatial case. In *1st USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar* (pp. 1–8). Saclay.

- [45] Tošić, V., Babić, O., Čangalović, M., & Hohlačov, D. (1995). Some models and algorithms for en route air traffic flow management. *Transportation Planning and Technology*, 19(2), 147–164. <http://doi.org/10.1080/03081069508717564>
- [46] Van Der Veldt, T. (2015). Flight Efficiency now : Establishing Common Objectives. In *Network Manager User Forum 2015*. Brussels.
- [47] Vranas, P. B. M., Bertsimas, D., & Odoni, A. R. (1994). The Multi-Airport Ground-Holding Problem in Air Traffic Control. *Operations Research*, 42(2), 249–261. <http://doi.org/10.1287/opre.42.2.249>
- [48] Wandeler, Y. De. (2014). Building the delay-analysis system for Europe. In *ICAO Business Class Symposium*. Montréal.
- [49] Wu, C.-L. (2005). Inherent delays and operational reliability of airline schedules. *Journal of Air Transport Management*, 11(4), 273–282. <http://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2005.01.005>

### 3. Polazne hipoteze

Polazne hipoteze predloženog istraživanja su:

- H1) moguće je izvršiti takvu raspodelu ATFCM kašnjenja (slotova) na regulisane letove da se minimizira sekundarno kašnjenje, odnosno trošak sekundarnog kašnjenja;
- H2) moguće je izvršiti takvu preraspodelu ATFCM slotova regulisanih letova, tako da se poveća usklađenost operacija sa aerodromskim slotovima;

Na osnovu do danas objavljenih radova na ovu temu, Komisija smatra da ima prostora za predloženo istraživanje koje može doneti značajne rezultate kakvi se i očekuju od doktorskih radova.

### 4. Naučne metode istraživanja

Predloženo istraživanje prati standardni proces naučnog istraživanja: definisanje problema, predmeta i ciljeva istraživanja, pregled relevantne literature, definisanje hipoteza, metodologije istraživanja i prikupljanje podataka, analiza podataka i sinteza rezultata istraživanja.

Biće analiziran sadržaj i struktura realnog sistema vazdušnog saobraćaja, I, koji će biti detaljno verbalno opisana. Na osnovu ovog opisa modela biti definisan više kriterijumski matematički model, na primer, kao nelinearni ili model celobrojnog programiranja. Ukoliko bude neophodno, za rešavanje matematičkog modela biće primenjen heuristički pristup.

Za analizu podataka, kao i rezultata dobijenih rešavanjem matematičkog modela, biće primenjene i grafička prezentacija/analiza rezultata, kao i analitička: izračunavanja parametara koji reprezentuju centar rasturanja promenljive, analiza frekvencije vrednosti promenljive, parametarski testovi, kao npr. testiranje hipoteze o srednjoj vrednosti, itd.

Na kraju, na osnovu analize podataka dobijenih rešavanjem modela sistema, biće urađena sinteza rezultata i saznanja kako bi se doneli relevantni zaključci.

## **5. Očekivani naučni doprinos**

Na osnovu predloženog predmeta istraživanja, kao i postavljenih ciljeva, očekivani naučni doprinosi su:

- Definisanje matematičkog modela za alokaciju ATFCM kašnjenja kojim se minimiziraju procenjeni troškovi kašnjenja, uz maksimizaciju usklađenosti operacija sa aerodromskim slotovima.
- Predlog metoda za rešavanje problema alokacije ATFCM kašnjenja kojima se minimiziraju procenjeni troškovi kašnjenja, uz maksimizaciju usklađenosti operacija sa aerodromskim slotovima.

Primena definisanog matematičkog modela kao i predloženih metoda za njegovo rešavanje bi, kao rezultat, trebalo da pruži efikasniji način upravljanja, tj. smanjenja, sekundarnih kašnjenja i povećavanje usklađenosti operacija sa aerodromskim slotovima, pri čemu se ATFCM kašnjenje koristi kao instrument upravljanja.

S obzirom na aktuelnost problema upravljanja, tj. smanjenja, sekundarnih kašnjenja i povećavanje usklađenosti operacija sa aerodromskim slotovima, pri čemu se ATFCM kašnjenje koristi kao instrument upravljanja, Komisija smatra da će rezultati ovoga rada biti od značaja za dalja istraživanja problema uspostavljanja balansa između saobraćajne potražnje i kapaciteta na mreži u vazdušnom saobraćaju kao i za praktičnu primenu.

## **6. Plan istraživanja i struktura rada**

U skladu sa motivacijom za izbor teme, predmeta istraživanja i postavljenih ciljeva, predložen je sledeći okvirni plan istraživanja i struktura doktorske disertacije.

Opis strukture postojećeg sistema upravljanja vazdušnim saobraćajem, kao i opis budućeg koncepta sistema kontrole letenja u Evropi. Biće detaljno opisan proces upravljanja saobraćajnim tokovima i kapacitetima na mreži (*Air Traffic Flow and Capacity Management Process*) koji primenjuje menadžer na mreži. Zatim će biti detaljno opisan program za unapređenje sistema kontrole letenja u Evropi, pod nazivom Single European Sky Air Traffic Management Research and Development (SESAR), kao i relevantni koncepti operacija predviđeni SESAR-om.

Zatim je predviđen pregled relevantne literature koja se bavi problemom uspostavljanja balansa između saobraćajne potražnje i kapaciteta na mreži u vazdušnom saobraćaju. Potrebno je da se izvrši kraći istorijski prikaz evolucije definisanja samog problema, kao i koncepta i matematičkih modela koji su predlagani za rešavanje problema.

Na osnovu sagledavanja aspekata realnog sistema, kao i dosadašnjeg naučnog doprinosa u formulaciji i rešavanju problema, potrebno je da se precizno definiše problem, kao i njegov okvir, koji će biti razmatran u disertaciji.

Potrebno je dalje da se definiše metodologija kojom se pristupa rešavanju problema, na osnovu koje bi trebalo definisati konceptualni model. Treba navesti relevantne pretpostavke, kao i teoretske i praktične razloge za predlog takvog modela realnog sistema.

Zatim je, na osnovu usvojenog konceptualnog modela i pretpostavki, potrebno formulisati matematički model: parametre, promenljive, kriterijumsku funkciju i ograničenja, kao i prodiskutovati način rešavanja matematičkog modela.

Zatim je potrebno pristupiti testiranju modela, pri tom koristeći relevantne primere. Relevantni primeri bi trebalo da budu definisani na osnovu primera iz realnog sistema, tj. na osnovu istorijskih podataka o kašnjenjima kao posledicama neusklađenosti saobraćajne potražnje i raspoloživog kapaciteta vazdušnog prostora. Na kraju, potrebno je detaljno prikazati primenu modela na primerima u kojima se koriste realni podaci. U nastavku je potrebno izvršiti detaljnu kvantitativnu i kvalitativnu analizu dobijenih rezultata.

Potrebno je izvršiti i analizu osetljivosti modela za različite vrednosti parametara u modelu.

Na kraju, potrebno je izložiti diskusiju rezultata, prezentovati zaključna razmatranja i dati pravce i smernice za potencijalni nastavak istraživanja.

## 7. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu uvida u prijavu teme doktorske disertacije, kao i na osnovu uspešno odbranjenog predloga istraživanja u okviru doktorske disertacije pred Komisijom, Komisija smatra da je predložena tema u naučnom i stručnom smislu relevantna i aktuelna, da nije u potpunosti istražena, kao i da je u skladu sa savremenim potrebama za istraživanjima u ovoj oblasti.

Komisija takođe smatra da je tema takva da daje mogućnost da se dođe do rezultata i doprinosa u okviru istraživanja koja odgovaraju obimu rada na doktorskoj disertaciji.

Pored toga, Komisija smatra da je kandidat, na osnovu dosadašnjeg obrazovanja, istraživačkog rada i pokazanih rezultata, dobar i spreman da nastavi istraživanje koje predlaže.

Komisija predlaže Nastavno - naučnom veću Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu, da se naziv teme koji je predložio kandidat **"KAŠNJENJA KAO INSTRUMENT UPRAVLJANJA U SISTEMU VAZDUŠNOG SAOBRAĆAJA" promeni u "UPRAVLJANJE KAŠNJENJIMA RADI REŠAVANJA NEUSKLADENOSTI SAOBRAĆAJNE POTRAŽNJE I KAPACITETA NA MREŽI U SISTEMU VAZDUŠNOG SAOBRAĆAJA"** i prihvati kao naziv teme doktorske disertacije kandidata Nikola Ivanov, dipl.ing.saob, da je prosledi Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu na dalji postupak, kao i da za mentora odredi Prof. dr Obrada Babića.

Predložena tema spada u užu naučnu oblast "Aerodromi i bezbednost vazdušne plovidbe" za koju je matičan Saobraćajni fakultet u Beogradu.

### Članovi Komisije

---

Dr Obrad Babić

Redovni profesor Univerziteta u Beogradu - Saobraćajni fakultet

---

Dr Radosav Jovanović

Vanredni profesor Univerziteta u Beogradu - Saobraćajni fakultet

---

Dr Milan Stanojević

Redovni profesor Univerziteta u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka

## Prilog



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ - САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ

Телефон: 011 30 96 207; 011 39 76 017; факс: 011 30 96 704  
Србија, 11000 Београд, Војводе Степе 305 www.sf.bg.ac.rs

Број документа 5/144

04.07.2017, Београд

### У В Е Р Е Њ Е

Да је Никола (Винко) Иванов студент САОБРАЋАЈНОГ факултета на докторским академским студијама, уписан на трећу годину студија школске 2016/17, положио следеће предмете:

| Рб. | Назив предмета                                                              | ЕСПБ    | Сем. | Фонд часова | Оцена   |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------|---------|------|-------------|---------|
| 1.  | Предлог истраживања у оквиру докторске дисертације и одбрана пред комисијом | (16.00) | 3    | П(0) В(0)   | Испунио |

"На основу члана 75. Статута Саобраћајног факултета у Београду, признају се и положени испити са других високошколских установа:"

| Рб. | Назив предмета                                      | ЕСПБ    | Сем. | Фонд часова | Оцена      |
|-----|-----------------------------------------------------|---------|------|-------------|------------|
| 2.  | Фази системи са применама у саобраћају и транспорту | (7.00)  |      |             | 10 (десет) |
| 3.  | Ваздухопловна пристаништа 4                         | (7.00)  |      |             | 10 (десет) |
| 4.  | Управљање подацима                                  | (7.00)  |      |             | 10 (десет) |
| 5.  | Контрола летења                                     | (7.00)  |      |             | 10 (десет) |
| 6.  | Годишњи рад на семинару                             | (4.00)  |      |             | Испунио    |
| 7.  | Комбинаторна оптимизација                           | (10.00) |      |             | 10 (десет) |
| 8.  | Нелинеарно програмирање                             | (10.00) |      |             | 10 (десет) |
| 9.  | Рачунарска симулација                               | (10.00) |      |             | 10 (десет) |
| 10. | Мултиваријациона анализа                            | (10.00) |      |             | 10 (десет) |
| 11. | Планирање превоза и експлоатација ваздухоплова 4    | (7.00)  |      |             | 10 (десет) |

Просечна оцена коју је студент остварио је а збир ЕСПБ бодова 16.00.

Уверење се издаје на лични захтев.

Руководилац службе за студентске послове  
Саобраћајног факултета

